

補助事業番号 2022M-251

補助事業名 2022年度 レーザビームプロファイルが制御可能な光空間通信装置の開発  
研究補助事業

補助事業者名 佐賀大学理工学部 辻村 健

## 1 研究の概要

災害直後は通信インフラ復旧が急務ですが、光ネットワークはケーブル張替えに時間がかかり無線ネットワークは通信輻輳のため回線増設に即応できないおそれがあります。そこで本研究では、これら既存通信システムを補完する目的で、レーザ光通信に着目して簡易にブロードバンド通信を実現する技術の一つとして光空間通信に着目しました。既存システムでは光軸調整を作業者が補助装置を用いて手間と時間をかけて行っているのが実情ですが、災害時には緊急性が求められ、設置場所も暫定的になるため、設置環境に即応して自動的に最適条件を探し出して光軸を合わせる技術が不可欠となります。研究責任者らは、災害時緊急回線開通のための光空間通信装置の光軸調整アルゴリズム等の要素技術を完成しました。本研究では、上記の要素技術を内包するハードウェア・ソフトウェアを搭載した通信装置を試作し、総合的な機能検証を以下の手順で進めました。

- ① 光軸自動調整可能なハードウェアを装備したアドホック光空間通信装置を設計しプロトタイプを製作しました。
- ② 全光全自動光軸調整プログラムを制作しました。
- ③ プロトタイプを用いて、光軸調整機能に関する基本特性を評価しました。

## 2 研究の目的と背景

光空間通信はレーザ光を空中に発射する通信方式であり、光ファイバ・無線通信の補完的通信方式として、特に被災後の緊急ネットワーク開通などに活用が期待されます。実用化の鍵を握るのは機動性であり、既に代表研究者らはそれを実現する技術として全自動光軸調整手法を提案し制御アルゴリズム等の要素技術を提案しました。最後のハードルは実機通信装置を試作し要素技術を組み込んで定量的にその有効性を検証することです。

## 3 研究内容 <http://robot.me.saga-u.ac.jp/>

### 1. アドホック光空間通信装置の設計・試作

光軸自動調整可能なハードウェアを装備したアドホック光空間通信装置を設計しプロトタイプを製作した。基本設計は佐賀大学で行い、それに基づいて東洋電機（株）に試作を依頼した。部品調達時間などの影響を考慮し、既存装置の改造で要求機能を実現した。

図1は本試作による送信装置の構造を示しており、空間通信光光源とレンズの距離を可変とすることにより到達レーザビーム径をコントロールすることができる。図2は試作装置外観を示す。試作装置の主な仕様は下記のとおり。

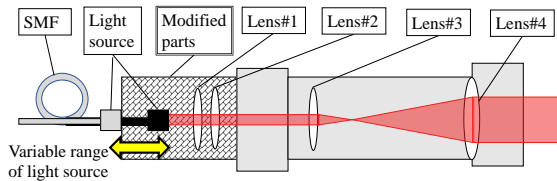


図1 送信装置構造図

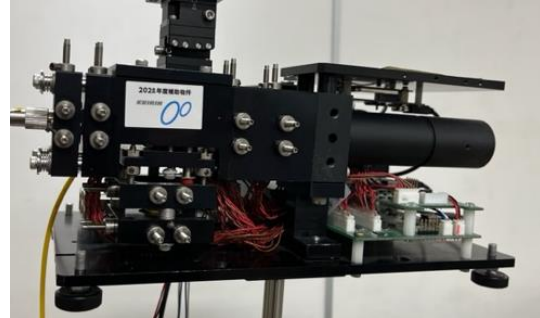


図2 試作装置外観図

[主な仕様]

- 通信波長: 1550nm 双方向単軸                      伝送帯域: 10Gbps
- 信号光: 15Φコリメート光                      光軸調整駆動: Voice Coil Motor
- ビーム径調整機能: ビーム径 5-100mm              ビームスキャン機能: ピッチ角・ヨー角 0.1mrad
- 光強度分布計測方式: 4分割フォトディテクタ/Distributed Photodiode Array

2. 全光全自動光軸調整プログラム制作

一対の光空間通信装置の初期調整を光信号だけを用いて実行する双方向通信プログラム

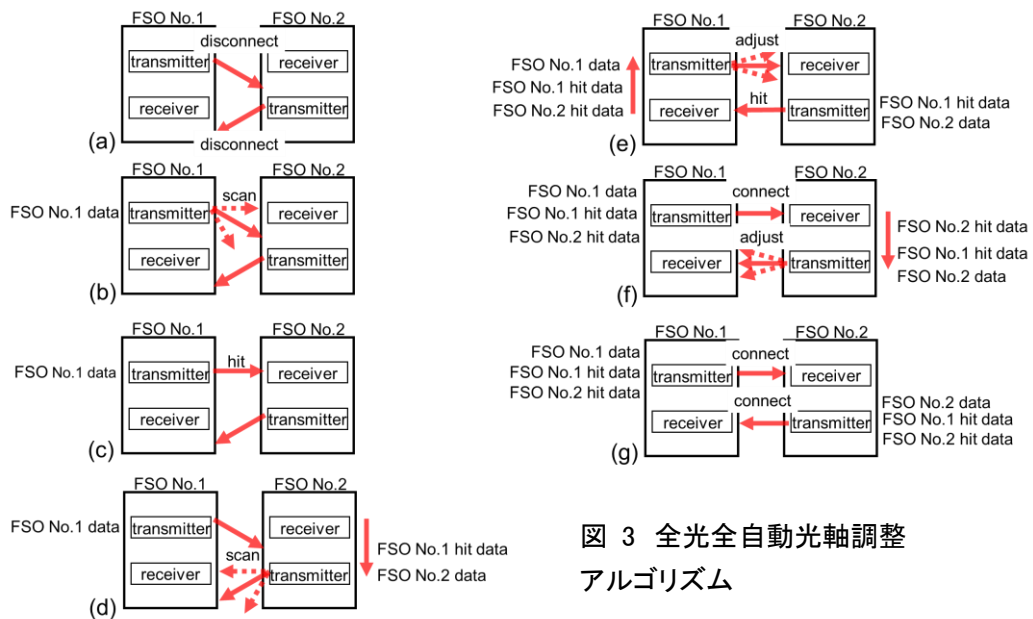


図3 全光全自動光軸調整アルゴリズム

を制作した。任意地点に設置した光空間通信装置端末を、通信レーザ光のみを用いて短時間で自動的に発見し最適光軸位置に調整するアルゴリズム（図3）に基づいて実行プログラムを制作して試作装置に移植した。

### 3. 基本特性評価実験

試作装置を用いて、到達ビーム径可変機能に関する基本特性を英領評価した。アクチュエータステップ数を制御することにより光源位置をシフトすることができ、その結果、伝送距離前方の通信レーザ光が図4に示すように拡大縮小できることを確認した。

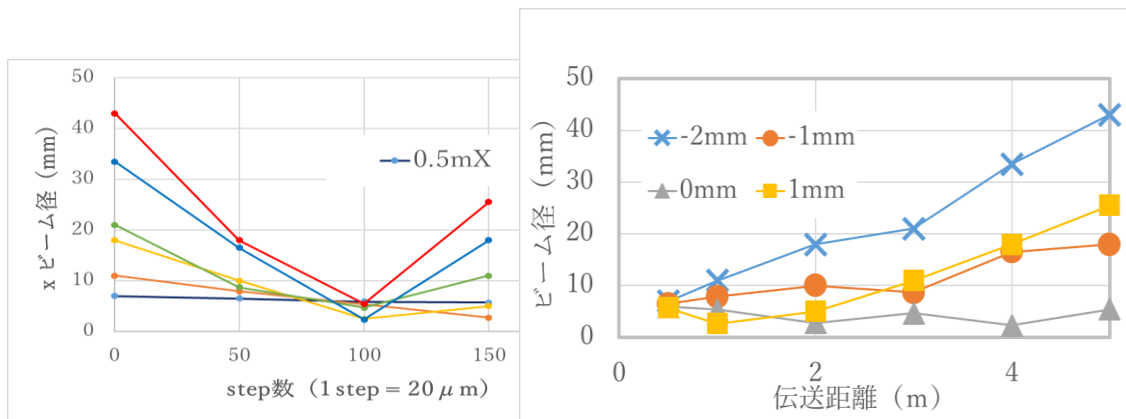


図4 到達ビーム径可変実験結果

次に、プロトタイプを用いた光空間通信システムを構築し、光軸調整機能および空間通信室内実験を行って基本特性を評価した。図5に光空間通信システムを示す。図6と7は光強度分布計測用センサの写真とそれを用いた光軸位置推定精度実験の結果を示す。本提案の光軸位置推定は到達レーザがガウス分布に従うという前提を持つが、実際の分布データに基づいても複数回の誤差調整によって光軸を目標値に誘導できることを確認した。

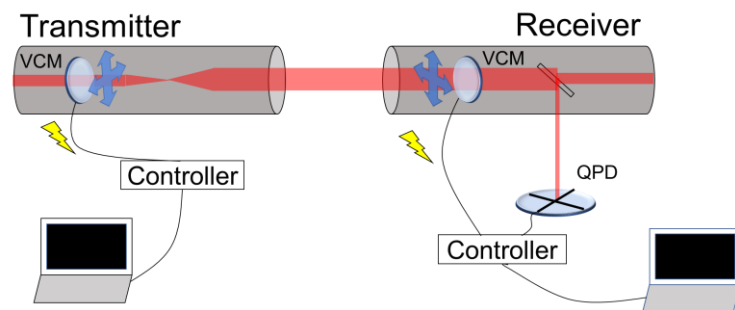


図5 光空間通信システム

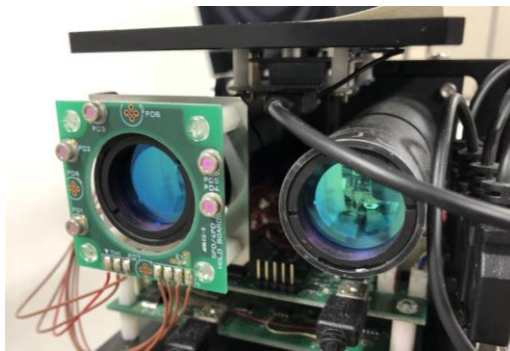


図6 光軸調整計測用センサシステム

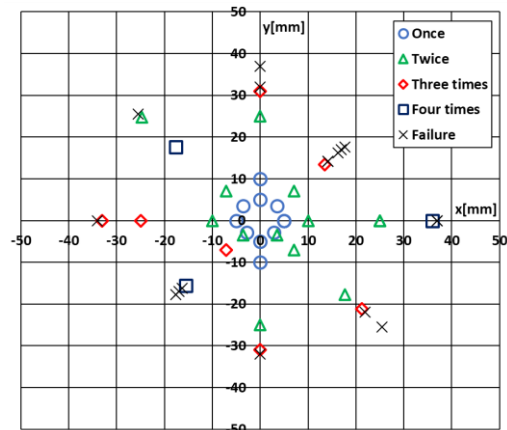


図7 光強度分布計測実験

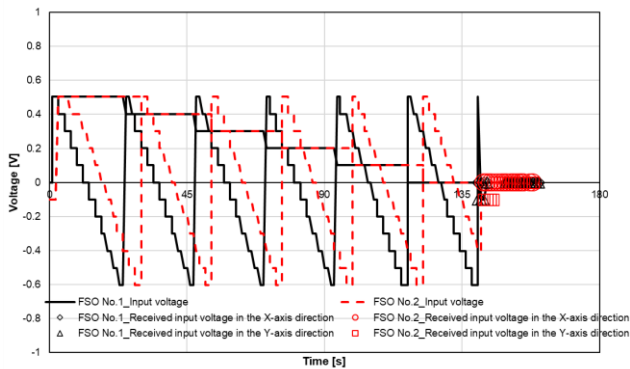


図8 レーザスキャンニング実験

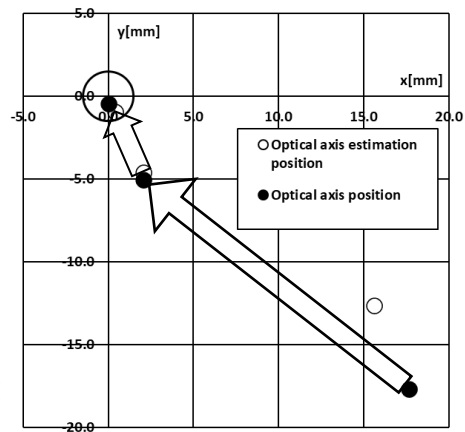


図9 光軸調整実験

最後に、送信レーザ光到達位置を意図的に点図中心からずらし光軸調整を行う実験を行った、図8のように送信レーザ光をスキャンして光軸を探索した。図9は約30mm到達位置をずらした場合のレーザ光軸が2回の修正で正確な位置に誘導された結果を示す。

以上の検討により

光軸調整特性として、レーザ光スキャンニング機能・レーザビーム径調整機能を実現し、それを用いて通信レーザ光の光学系を調整することによりビームプロファイル（到達位置・スポット口径）を任意に制御する技術を確立した。

また、室内通信実験を行いビット誤り率測定器を用いてアクティブ光空間通信装置の通信品質を定量評価した結果、ビットエラーレート  $10^{-10}$  以下であることを確認した。

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

アクセス系ネットワークにおいて、光ファイバ等の補助的通信手段として新たに光空間通信方式を提供できる。これはメタル／光ファイバ／電波無線を補完・代替する通信方式として、都市部・過疎地域・災害時などで光空間通信装置の活用が期待できる。

アドホックな光ネットワーキングを簡易に開通するという要望に対し、設置・初期調整から定常運転までを一貫して全自動でオペレーションできる。特に応急通信網を再構成する場合などに有効となる。

別の適用分野として、船舶や列車等移動体における広帯域通信システムとして、また、放送におけるハンディカメラの映像伝送等にも応用可能性がある。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまで10年以上光空間通信技術の研究を進めてきたが、今回その集大成として全自動光軸調整機能を持つ光空間通信システムの研究を企画した。本技術はさまざまな適用対象があり学術的にも興味深い内容を多く含んでいるので、今後 通信分野ほか実社会への貢献や関連研究分野への応用が期待される。

教歴に関連しては、本テーマに直接関係する内容だけでも、卒業研究学生2名・修士学生1名の研究テーマとし、卒業論文・修士論文を完成していることから、教育活動の観点からも多大な貢献が認められる。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. Kota Watanabe, Takuto Koyama, Hiroshi Koga, Kiyotaka Izumi and Takeshi Tsujimura: “Tactical Alignment of Aerial Transmission Laser Beam for Free Space Optics Communication”, The 25-th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS-2022), 2022.
2. Kota Watanabe, Takuto Koyama, Hiroshi Koga, Kiyotaka Izumi and Takeshi Tsujimura: “Optomechanical feedback system to adjust optical axis for aerial laser communication”, 2022 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint International Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment (MIPE2022), 2022, Nagoya, Japan
3. Shun Jono, Takuto Koyama, Kota Watanabe, Kiyotaka Izumi, and Takeshi Tsujimura: “Optical Simulations on Aerial Transmitting Laser Beam for Free Space Optics Communication”, Advances in Networked-Based Information Systems, LNNS 313, pp. 59-70, 2022

4. Takuto Koyama, Hiroshi Koga, Kota Watanabe, Kiyotaka Izumi, Takeshi Tsujimura :  
"Optical beam control for aerial transmission based on laser profile simulation"  
The SICE Annual Conference 2022, ThB09.2
5. Kota Watanabe, Takuto Koyama, Hiroshi Koga, Kiyotaka Izumi, Takeshi Tsujimura :  
"Robotic Alignment Technique of Search Control for Laser Beam Communication" The  
SICE Annual Conference 2022, WeB04.3

#### 7 補助事業に係る成果物

##### (1)補助事業により作成したもの

該当なし

##### (2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

#### 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 佐賀大学工学部(サガダイガクリコウガクブ)

住 所： 〒840-8502 佐賀市本庄町1

担 当 者 教授 辻村 健(ツジムラタケシ)

E - m a i l: [tujimura@cc.saga-u.ac.jp](mailto:tujimura@cc.saga-u.ac.jp)

U R L : <http://robot.me.saga-u.ac.jp/>